

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-315159

(P 2 0 0 3 - 3 1 5 1 5 9 A)

(43) 公開日 平成15年11月6日 (2003. 11. 6)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード (参考)

G01J 5/60

G01J 5/60

A 2G066

5/48

5/48

F

H05H 1/00

H05H 1/00

A

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全10頁)

(21) 出願番号 特願2002-117234 (P 2002-117234)

(22) 出願日 平成14年4月19日 (2002. 4. 19)

特許法第30条第1項適用申請有り 平成13年10月20日  
電気学会他開催の「平成13年度電気・情報関連学会中国  
支部第52回連合大会」において文書をもって発表

(71) 出願人 800000013

有限会社山口ティー・エル・オー

山口県宇部市東梶返1丁目10番8号 常盤  
工業会館内

(72) 発明者 崎山 智司

山口県宇部市常盤台2丁目16番1号 山口  
大学工学部

(72) 発明者 福政 修

山口県宇部市常盤台2丁目16番1号 山口  
大学工学部

(74) 代理人 100080539

弁理士 高木 義輝

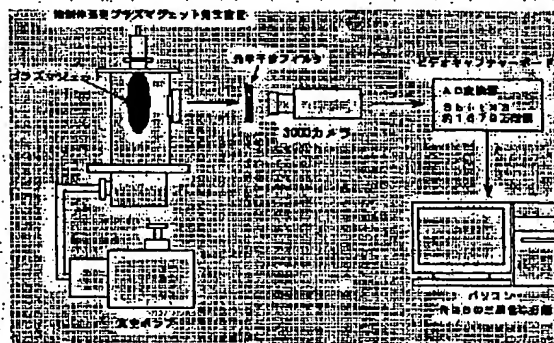
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 放射温度計測装置

(57) 【要約】

【課題】 測定対象物の温度の空間分布を精度よく且つ  
瞬時に計測できる、簡素で安価な放射温度計測装置を提  
供することを目的とする。

【解決手段】 放射光から複数の波長を選択して、選択  
された複数の波長が混在する選択放射光を生成する波長  
選択手段と、この選択放射光を、複数の波長毎に分離可  
能に撮像し、複数の波長毎に放射光強度に応じた出力を  
生成する撮像手段と、撮像手段で生成した複数の波長毎  
の出力を演算処理してプラズマの温度の空間分布を算出  
する演算手段とを具備した放射温度計測装置であり、例  
えば、2波長光学フィルタと、3 CCDカメラと、パソコ  
ンで構成する。



BEST AVAILABLE COPY

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 測定対象物から放射された放射光を少なくとも2次元分布で撮像し、これにより得られた放射光強度に基づいて該測定対象物の温度の空間分布を計測する放射温度計測装置であって、該放射光から複数の波長を選択して、該選択された複数の波長が混在する選択放射光を生成する波長選択手段と、該選択放射光を、該複数の波長毎に分離可能に撮像し、該複数の波長毎に放射光強度に応じた出力を生成する撮像手段と、該撮像手段で生成した該複数の波長毎の出力を演算処理して該測定対象物の温度の空間分布を算出する演算手段と、を具備したことを特徴とする放射温度計測装置。

【請求項2】 前記波長選択手段は、2波長を選択的に透過させる光学フィルタであることを特徴とする請求項1記載の放射温度計測装置。

【請求項3】 前記撮像手段は、前記選択放射光を集光する光学レンズと、該光学レンズで集光した放射光を3原色に分光するプリズムと、該分光した放射光の強度をそれぞれ検出し、それぞれの放射光強度に応じた出力を生成するCCD検知部と、を具備した3CCDカメラであることを特徴とする請求項1又は請求項2記載の放射温度計測装置。

【請求項4】 前記撮像手段は、前記選択放射光を集光する光学レンズと、該光学レンズで集光した放射光の強度を3原色に分離してそれぞれ検出し、それぞれの放射光強度に応じた出力を生成するCCD検知部と、を具備したCCDカメラであることを特徴とする請求項1又は請求項2記載の放射温度計測装置。

【請求項5】 前記カメラは、ビデオカメラであることを特徴とする請求項3又は請求項4記載の放射温度計測装置。

【請求項6】 前記演算手段は、前記撮像手段で生成した複数の波長毎の出力の比を求める手段と、この比と温度との予め求めた対応関係を記憶する手段と、該測定により求めた比を該対応関係に当てはめて前記測定対象物の温度を導出する手段と、を含み構成され、選択した2波長の強度比に基づいて温度を算出するコンピュータであることを特徴とする請求項1乃至請求項5の何れかに記載の放射温度計測装置。

【請求項7】 前記波長選択手段と前記撮像手段とを一体に形成し、回転支軸を設け、該一体に形成した波長選択手段と撮像手段とを該回転支軸の周りに回転可能に構成したことを特徴とする請求項1乃至請求項6の何れかに記載の放射温度計測装置。

【請求項8】 前記波長選択手段と前記撮像手段とを一組とし、該波長選択手段と撮像手段との組を、前記測定対象物の周囲に、該測定対象物を異なる方向から撮像可能に複数組設けて構成したことを特徴とする請求項1乃至請求項6の何れかに記載の放射温度計測装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、測定対象物から放射された放射光を少なくとも2次元分布で撮像し、これにより得られた放射光強度に基づいて測定対象物の温度の空間分布を計測する放射温度計測装置に係わり、特に、プラズマの生成、計測、制御などに好適な放射温度計測装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】アーク放電をガス流と器壁で収束しノズルから噴射することにより得られるプラズマジェットは、高温・活性の熱プラズマ流であり、種々の材料処理プロセスに利用されている（福政：応用物理 67（1998）181、等）。このプラズマジェットを用いたプロセスで、高品質な材料処理を行うためには、プロセス中のプラズマパラメータ（温度、粒子密度など）を反応領域全体に亘って3次元的に、精密かつリアルタイムで測定することが重要である。

【0003】従来、実用化されているプラズマ計測装置には、プローブ法（探針法）、マイクロ波法、光計測法などを適用したものが知られているが、これらは何れも局所的な計測法であり、温度分布計測には、計測装置を移動するような面倒な操作が必要になると共に、計測に時間が掛かり、精密かつリアルタイムでの測定ができない等の問題がある。

【0004】この問題を解決する技術として、プラズマから放射された放射光を用い、プラズマの温度分布を瞬時に計測する方法が開示されている。即ち、特開平06-243991号公報には、透過光学フィルタを用いてプラズマの放射光から任意の波長を選択し、この選択された任意波長の放射光をCCDカメラ等で撮像して、これにより得られた放射光強度に基づいてプラズマの温度の空間分布を計測するプラズマ計測装置が開示され、特開平07-263178号公報には、透過光学フィルタ等の波長選択手段とCCDカメラ等の撮像手段とを一組として、プラズマの周囲に複数組配置し、空間的に不均一な温度分布を有するプラズマでも計測可能としたプラズマ計測装置が開示されている。

【0005】測定対象物から放射された放射光を用いて測定対象物の温度を計測する方法として、放射光に含まれる異なった波長の強度を測定し、それらの比を求め、その値と温度との対応関係により測定対象物の温度を求める技術が知られている。この異なった波長を選択する技術として、上記の特開平06-243991号公報には、波長透過性の異なる部分を有する光学フィルタを用いる技術と、ハーフミラーにより分光し、分光した放射光に波長透過性の異なる光学フィルタをそれぞれ設ける技術とが開示されているが、前者は、特殊・高価な光学フィルタを必要とし、また、それぞれの選択放射光断面の幾何学的な複雑さによりプラズマ温度の空間分布の算出が難しく、更には、光学フィルタが受光した放射光の光量と比

較し、選択放射光の光量は半減するという問題がある。後者の技術は、複数の光学フィルタを要し装置が複雑・高価になると共に、分光により選択放射光の光量は半減するという問題がある。

【0006】波長透過性の異なる二つの光学フィルタを用いる技術は、特開平06-347330号公報、特開平07-301569号公報などにも開示されているが、同様に、装置が複雑・高価になると共に、分光により選択放射光の光量は半減するという問題がある。また、特開平09-280956号公報には、3種類の光学フィルタを順次、入れ替えて撮像する技術が開示されているが、同様の問題を有すると共に、光学フィルタ入れ替えに伴う時間差により、高精度の計測が難しくなるという問題がある。

#### 【0007】

【発明が解決しようとする課題】本発明は、放射温度計測装置に係わる前述の状況に鑑み、測定対象物の温度の空間分布を精度よく且つ瞬時に計測できる、簡素で安価な放射温度計測装置を提供することを目的とする。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、請求項1の発明は、測定対象物から放射された放射光を少なくとも2次元分布で撮像し、これにより得られた放射光強度に基づいて測定対象物の温度の空間分布を計測する放射温度計測装置であって、放射光から複数の波長を選択して、選択された複数の波長が混在する選択放射光を生成する波長選択手段と、選択放射光を、複数の波長毎に分離可能に撮像し、複数の波長毎に放射光強度に応じた出力を生成する撮像手段と、撮像手段で生成した複数の波長毎の出力を演算処理して測定対象物の温度の空間分布を算出する演算手段と、を具備した放射温度計測装置である。

【0009】請求項2の発明は、前記波長選択手段の好ましい形態に係わり、波長選択手段を、2波長を選択的に透過させる光学フィルタ（以下、「2波長光学フィルタ」と略称することがある）とした放射温度計測装置である。

【0010】請求項3から請求項5の発明は、前記撮像手段の好ましい形態に係わり、請求項3の発明は、撮像手段を、選択放射光を集光する光学レンズと、光学レンズで集光した放射光を3原色に分光するプリズムと、分光した放射光の強度をそれぞれ検出し、それぞれの放射光強度に応じた出力を生成するCCD検知部と、を具備した3CCDカメラとした放射温度計測装置であり、請求項4の発明は、撮像手段を、選択放射光を集光する光学レンズと、光学レンズで集光した放射光の強度を3原色に分離してそれぞれ検出し、それぞれの放射光強度に応じた出力を生成するCCD検知部と、を具備したCCDカメラとした放射温度計測装置である。請求項5の発明は、請求項3又は請求項4の発明のカメラを、連続撮影可能なビデオカメラとした放射温度計測装置である。

【0011】請求項6の発明は、前記演算手段の好ましい形態に係わり、演算手段を、撮像手段で生成した複数の波長毎の出力の比を求める手段と、この比と温度との予め求めた対応関係を記憶する手段と、測定により求めた比を対応関係に当てはめて前記測定対象物の温度を導出する手段と、を含み構成され、選択した2波長の強度比に基づき温度を算出するコンピュータとした放射温度計測装置である。

【0012】請求項7と請求項8の発明は、空間的に不均一な温度分布を有するプラズマの計測に好適な形態に係わり、請求項7の発明は、前記波長選択手段と前記撮像手段とを一体に形成し、回転支軸を設け、一体に形成した波長選択手段と撮像手段とを回転支軸の周りに回転可能に構成した放射温度計測装置であり、請求項8の発明は、前記波長選択手段と前記撮像手段とを一組とし、波長選択手段と撮像手段との組を、測定対象物の周囲に、測定対象物を異なる方向から撮像可能に複数組設けて構成した放射温度計測装置である。

#### 【0013】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について、測定対象物をプラズマとして説明するが、本発明はプラズマ計測に限定されることなく、放射光を放出する発光体を測定対象物として実施することができる。

【0014】先ず、上述のように従来技術でも用いられている方法であるが、本発明で使用する選択した2波長の強度比に基づき温度を算出する方法（以下、「2線強度比法」と略称することがある）の原理について、輝線スペクトルを用いたプラズマ温度の計測を例として、簡単に説明する。一般的に、プラズマから放射される放射光のスペクトル線強度は、(1)式で表される。式中のNおよびQは温度の関数となるため、異なる波長の2本のスペクトル線強度の比をとってこれらを消去すると、

(1)式は温度について解くことができ、(2)式となる。この関係式を用いてプラズマ温度を計測する方法が2線強度比法である。即ち、放射光に混在する多数のスペクトル線から比較的強い2波長を予め選択し、そのスペクトル線強度を測定してその比をとることにより、

(2)式を用いてプラズマ温度を計測することができる。なお、計測を精度よく行う上で、(2)式から明らかなように、可能な限りエネルギー準位差の大きい2波長を選択するのが好ましい。

#### 「数1」

$$I_{mn} = [A_{mn}(E_m - E_n) g_m N] / Q \exp(-E_m / kT_e) \quad (1)$$

ここで、 $A_{mn}$ は、準位mから準位nへの遷移確率、 $E_m$ と $E_n$ は、それぞれ遷移の高準位、低準位のエネルギーであり、 $E_m$ と $E_n$ は、 $(E_m - E_n) = h\nu$ の関係性を有する。 $h$ はプランク定数、 $\nu$ は周波数である。 $g_m$ は高準位の統計的重みであり、 $N$ は粒子の数密度、 $Q$ は内部配関数、 $T_e$ は電子温度、 $k$ はボルツマン定数である。

#### 「数2」

$$T_e = [(E1 - E2) / k] / [\ln(g1A1 \nu 1 / g2A2 \nu 2) - \ln(I1 / I2)] \quad (2)$$

ここで、E1とE2は各スペクトル線のエネルギー準位であり、A1とA2は各スペクトル線の遷移確率、 $\nu 1$ と $\nu 2$ は各スペクトル線の周波数、g1とg2は各スペクトル線の統計的重み、I1とI2は各スペクトル線の強度である。

【0015】なお、(2)式に示すように、プラズマ温度を高精度に計測するためには、所定の2波長のみの強度を測定する必要があるが、通常、プラズマの放射光には多くの輝線スペクトルが混在するため、所定の2波長を選択する波長選択手段としては、狭帯域特性を有し、所定の2波長のみの選択可能なものが好ましい。

【0016】以上、2線強度比法の原理について、輝線スペクトルを用いたプラズマ温度の計測を例として説明したが、本発明はこれに限定されることなく、複数波長を選択しその波長毎の強度を用いて測定対象物の温度の空間分布を算出できるものであればよく、例えば、プランクの法則に準じた温度放射を行う測定対象物などでは、その任意の2波長を選択しその波長毎の強度を用いて測定対象物の温度の空間分布を算出できる。

【0017】次に、上述の特開平06-243991号公報などに開示されている技術と同様であるが、プラズマから放射された放射光を少なくとも2次元分布で撮像し、これにより得られた放射光強度に基づいてプラズマの温度の空間分布を計測する実施の形態について、簡単に説明する。即ち、プラズマ温度の空間分布は、例えば、CCD (Charge Coupled Device) 素子を二次元配置したCCDカメラを用いて放射光を撮像し、CCDカメラからの出力信号をプラズマ側面から見た映像信号としてコンピュータに取り込み、コンピュータに予め用意された画像処理プログラムに従って、観察したい断面位置のスペクトル線強度分布を求め、同心円状のプラズマの場合、これを用いて3次元の温度分布を求めることができる。不均一な温度分布を有するプラズマの場合には、例えば、2つのCCDカメラを用いてプラズマを異なる方向から同時に撮像し、この2つのCCDカメラからの出力信号を周知のCT (Computer Tomography) 技術を用いて処理することにより、3次元の温度分布を求めることができる。

【0018】かかる実施の形態により、プラズマの温度の空間分布を精度よく且つ瞬時に計測することができる。

【0019】本発明は、放射光から複数の波長を選択して、選択された複数の波長が混在する選択放射光を生成する波長選択手段と、この選択放射光を、複数の波長毎に分離可能に撮像し、複数の波長毎に放射光強度に応じた出力を生成する撮像手段と、撮像手段で生成した複数の波長毎の出力を演算処理してプラズマの温度の空間分布を算出する演算手段とを具備した放射温度計測装置であり、好ましくは、2波長光学フィルタを波長選択手段とし、光学レンズと分光プリズムとCCD検知部とを有する3 CCDカメラを撮像手段とし、コンピュータを演算手

段として実施することができ、軸対称のプラズマの場合などには、これを用いて3次元の温度分布を計測することができる。

【0020】コンピュータは、例えば、3 CCDカメラで生成した複数の波長毎の出力の比を求め、この比と温度との予め求めた対応関係によりプラズマの温度を導出する、2線強度比法による温度算出プログラムや、画像処理により空間分布を求めるプログラム、更には、動画像処理により空間分布・時間変化を求めるプログラム、などを内蔵したパソコンを用いることができる。

【0021】即ち、本発明は、2波長光学フィルタと、市販の3 CCDカメラと、パソコンとを用いて実施することができ、極めて簡素で安価な放射温度計測装置を提供することができる。なお、若干、分解能が低下するが、本発明は、3 CCDカメラの代わりに、分光プリズムを有さない市販のCCDカメラを用いて実施することもでき、この実施の形態によれば、更に簡素で安価な放射温度計測装置を提供することができる。更にまた、連続撮影可能なビデオカメラを用いて実施することができ、この実施の形態によれば、プラズマ温度の空間分布の時間変化を計測することができ、更に、温度分布の時間的推移からプラズマの流速分布を求めることもできる。なお、市販の3 CCDカメラやCCDカメラは、3原色に分離可能に撮像するものであり、殆どのプラズマはこれを用いて計測することができるが、例えば、核融合の超高温プラズマなどの放射光は、特殊なスペクトル分布を有するため、これに適合した2波長光学フィルタやCCD素子などを用いる必要がある。

【0022】次に、不均一な温度分布を有するプラズマを計測する実施の形態について説明する。不均一な温度分布を有するプラズマの計測に際しては、少なくとも2方向からの撮像が必要であり、時間的な変動が少ない場合には、例えば、2波長光学フィルタと3 CCDカメラとを一体に形成し、回転支軸を設け、一体形成した3 CCDカメラ等を回転支軸の周りに回転可能に構成し、3 CCDカメラ等の向きを変えて複数回撮像することにより、3次元の空間分布を計測することができる。一方、時間的な変化が大きい場合、若しくは、高精度の計測が必要な場合には、例えば、2波長光学フィルタと3 CCDカメラとを一組とし、プラズマの周囲に、プラズマを異なる方向から撮像可能に複数組設けて構成し、プラズマを異なる方向から同時に撮像することにより、不均一な温度分布を有するプラズマでも、高精度に3次元の空間分布を計測することができる。

【0023】以上のような実施の形態により、本発明は、測定対象物の温度の空間分布を精度よく且つ瞬時に計測できる、簡素で安価な放射温度計測装置を提供することができる。また、本発明によれば、選択する所定波長の放射光の光量を、減量させることなく取得すること

ができる。更にまた、本発明の放射温度計測装置は、計測領域全体を瞬時にカバーできると共に、プラズマ中に注入された粉末材料粒子の温度、速度、粒径の同時測定や時間変化の測定が可能である。即ち、本発明の放射温度計測装置を用いることにより、処理材料がどのようなプラズマ領域を通過し、どのように加熱され、どのような反応を起こすかをリアルタイムでモニタリングし、生成物の特性を精密制御できる。例えば、理論硬度に近いコーティングを行うことが可能となり、傾斜構造膜の組成を精密にコントロールしその性能を飛躍的に高めることが可能となる。

【0024】なお、上述の実施の形態では、好ましい波長選択手段として2波長光学フィルタを例として説明したが、これに代えて、回折格子、プリズム、エタロンなどを波長選択手段として用いることもできる。また、撮像手段として、CCD素子を用いた3CCDカメラ、CCDカメラを例として説明したが、MOS (Metal Oxide Semiconductor) 型素子、CPD (Charge Priming Device) 型素子などを用いて実施することもできる。更にまた、2波長光学フィルタを、光学レンズの後に設けて実施することもできる。

#### 【0025】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面に従って説明する。

【0026】図1は、本実施例の計測システムの構成を示す概略図であり、本計測システムは、測定対象物であるプラズマを生成する、真空ポンプを備えた強制伸張型プラズマジェット発生装置 (S. Sakiyama et al: Rev. Sci. Instrum63 (1992)2408) と、プラズマを計測する放射温度計測装置から構成されている。強制伸張型プラズマジェット発生装置は、軸対称のプラズマジェットを発生する装置であり、側面にプラズマからの放射光を取り出すための窓 (直径100mm) が設けられている。本実施例の放射温度計測装置は、図1に示すように、2波長 (404.6nm、696.5nm) のみ透過する光学フィルタ (湘南光膜研究所製、位相分散フィルタ) と、市販の3CCDカメラ (ソニー製、カラービデオカメラDXC900)、ビデオキャプチャード (AD変換器)、パソコン (イーヤマ製、パーソナルコンピュータV500JS4) とから構成されている。なお、選択透過させる2波長 (404.6nm、696.5nm) は、市販の3CCDカメラで分光する3原色 (RGB) の内、それぞれB成分とR成分に含まれる波長である。

【0027】強制伸張型プラズマジェット発生装置の窓を通して出力されたプラズマからの放射光を、光学フィルタを通して、2波長 (404.6nm、696.5nm) のみ3CCDカメラに取り込み、円筒状プラズマを側面から見た映像として撮像した。3CCDカメラは、周知の如く、受光した光を集光する光学レンズと、光学レンズで集光した光を3原色に分光するプリズムと、分光した光の強度をそれぞれ検出し、それぞれの強度に応じた出力を生成する

CCD検知部を有し、2波長 (404.6nm、696.5nm) を選択透過させる光学フィルタを通して撮像することにより、404.6nm、696.5nmの2波長のスペクトル強度を、それぞれ2次元画像として取得することができる。

【0028】図2は、プラズマの放射光に対する光学フィルタによる波長選択の一例 (ジェット発生条件: 容器圧力26Torr、ジェット熱出力2.5kW) であって、(a)は光学フィルタを通す前のスペクトル分布、(b)は光学フィルタのフィルタ感度特性、(c)は光学フィルタを通した後のスペクトル分布である。図2に示すように、プラズマの放射光には多くの輝線スペクトルが混在するが、狭帯域特性を有し、所定の2波長のみを選択可能な波長選択手段を用いることにより、プラズマ温度を高精度に計測することができる。

【0029】図3は、プラズマ画像の一例 (ジェット発生条件: 容器圧力30Torr、ジェット熱出力2.4kW) であって、(a)は原画像、(b)はB成分 (404.6nm) の画像、(c)はR成分 (696.5nm) の画像である。

【0030】3CCDカメラで取得した映像データは、ビデオキャプチャードを介して、パソコンに取り込まれ、パソコンでは、この画像データのB成分 (404.6nm) とR成分 (696.5nm) を用いて、2線強度比法による温度算出プログラマや、画像処理プログラマにより、プラズマ断面の二次元温度分布を求める。これにより、軸対称のプラズマの空間温度分布を計測することができる。

【0031】図4は、測定したプラズマ温度の二次元分布の一例 (ジェット発生条件: 容器圧力30Torr、ジェット熱出力2.4kW) であって、分光器を用いた従来法(b)と対比して示した二次元温度分布図であり、図5は、測定したプラズマ温度の径方向分布の一例 (ジェット発生条件: 容器圧力30Torr、ジェット熱出力2.4kW、軸方向距離85mm) であって、分光器を用いた従来法 (図中、□で表示) と対比して示した径方向温度分布図である。

【0032】図4及び図5に示すように、本実施例で求めた測定温度は、中心軸上で最大値をとり、外周部に向かって従って低下しており、分光器を用いた従来法で得られた温度分布と同様であるが、従来法と比べて、約1500K高くなっている。この差は、図5に示すように、ほぼ同一のドリフトとして現れている。これは、選定した404.6nmの輝線スペクトルの強度がバックグラウンドに対して小さいこと、及び、図2の(c)で明らかなように、光学フィルタの半値幅 (長波長側) が広いため、本来カットされるべき696.5nmの近傍の輝線スペクトルが計測されているためである。バックグラウンドに対して十分大きい輝線スペクトルを選び、十分半値幅の小さい光学フィルタを用いれば測定精度は著しく改善される。

【0033】本実施例によれば、2波長のみ透過させる光学フィルタと、市販の3CCDカメラと、パソコンという極めて簡素で安価な放射温度計測装置により、軸対称のプラズマの空間温度分布を精度よく且つ瞬時に計測す

ることができる。

【0034】次に、第二の実施例として、本発明の放射温度計測装置を用いて行うことができる、プラズマ中に注入された粉末材料粒子の温度、速度、粒径の同時測定について説明する。即ち、プラズマ中に注入された粉末材料粒子の温度は、通常の場合、その周囲の温度と異なることを利用して、計測領域全体を瞬時にカバーできる本発明の放射温度計測装置で計測することにより、粉末材料粒子の温度、速度、粒径を同時に測定することができる。

【0035】図6は、実施例1の放射温度計測装置を用いて撮像した、TiC溶射画像の一例であって、(a)は原画像、(b)はR成分(696.5nm)の画像、(c)はB成分(404.6nm)の画像である。特に、(b)R成分の画像に明らかなように、プラズマ中の粉末粒子は、周囲と温度が異なるため、カメラのシャッター時間中の軌跡として明確に現れ、これを解析することにより、プラズマ中の粉末粒子の温度、速度、粒径を同時に測定することができる。更に、ビデオカメラなどを用いて連続計測することにより、時間変化の測定や、より高精度な測定が可能となる。

【0036】なお、実施例2は、プランクの法則に準じた温度放射を行う測定対象物を撮像したものであって、本発明が、輝線スペクトルを用いたプラズマ温度等の計測に限定されることなく、複数波長を選択しその波長毎の強度を用いて測定対象物の温度の空間分布を算出できることを実証するものである。以上、本発明の実施例を説明したが、特許請求の範囲で規定された本発明の精神と範囲から逸脱することなく、その形態や細部に種々の変更がなされても良いことは明らかである。

【0037】例えば、実施例では、波長差を大きくするため、3原色(RGB)の内、R成分とB成分を用いる例について説明したが、R成分とG成分、若しくは、G成分とB成分の組み合わせを用いてもよい。また、3CCDカメラ

の代わりに、分光プリズムを有さないCCDカメラを用いて実施することもできる。

#### 【0038】

【発明の効果】本発明は、測定対象物の温度の空間分布を精度よく且つ瞬時に計測できる、簡素で安価な放射温度計測装置を提供できる効果がある。また、選択する所定波長の放射光の光量を、減量させることなく取得できる効果がある。更にまた、本発明の放射温度計測装置をプラズマ計測に用いることにより、処理材料がどのようなプラズマ領域を通過し、どのように加熱され、どのような反応を起こすかをリアルタイムでモニタリングし、生成物の特性を精密制御できる効果がある。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の、実施例1の計測システムの概略構成図である。

【図2】プラズマの放射光に対する光学フィルタによる波長選択の一例であって、(a)は光学フィルタを通す前のスペクトル分布、(b)は光学フィルタのフィルタ感度特性、(c)は光学フィルタを通した後のスペクトル分布である。

【図3】プラズマ画像の一例であって、(a)は原画像、(b)はB成分(404.6nm)の画像、(c)はR成分(696.5nm)の画像である。

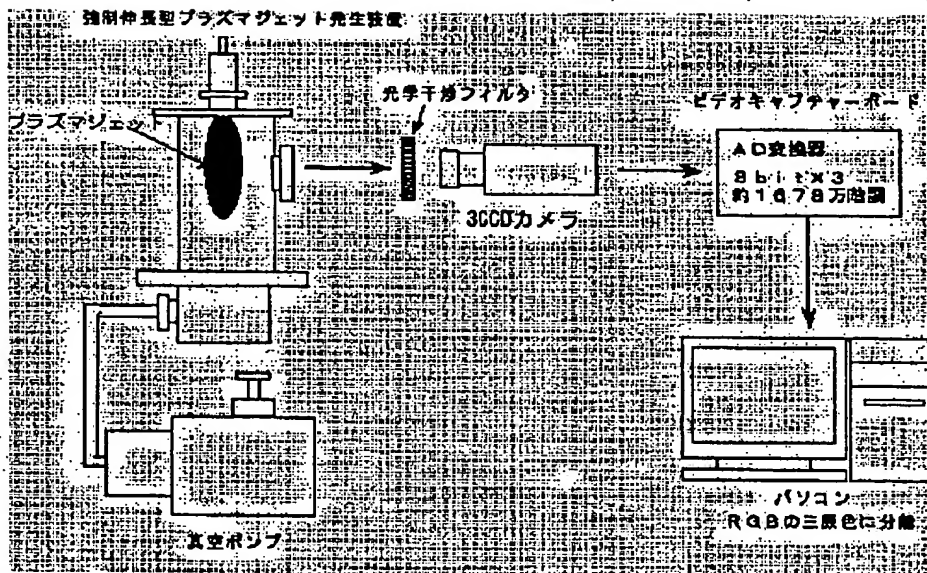
【図4】測定したプラズマ温度の二次元分布の一例であって、分光器を用いた従来法(b)と対比して示した二次元温度分布図である。

【図5】測定したプラズマ温度の径方向分布の一例であって、分光器を用いた従来法(図中、□で表示)と対比して示した径方向温度分布図である。

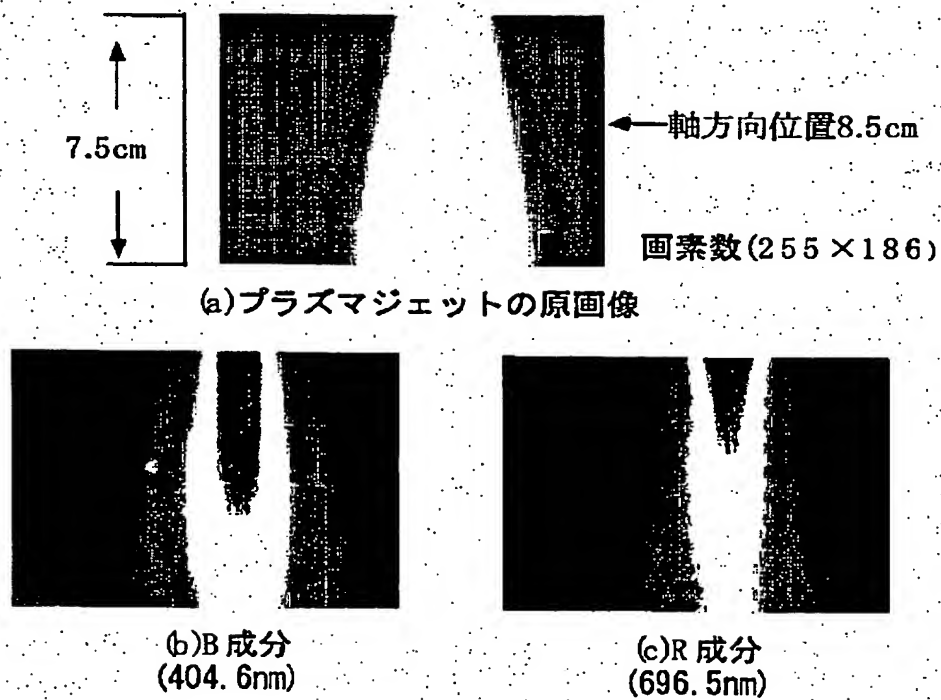
【図6】実施例1の放射温度計測装置を用いて撮像した、TiC溶射画像の一例であって、(a)は原画像、(b)はR成分(696.5nm)の画像、(c)はB成分(404.6nm)の画像である。



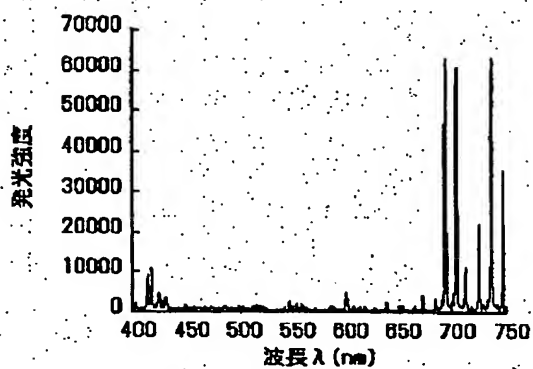
【図1】



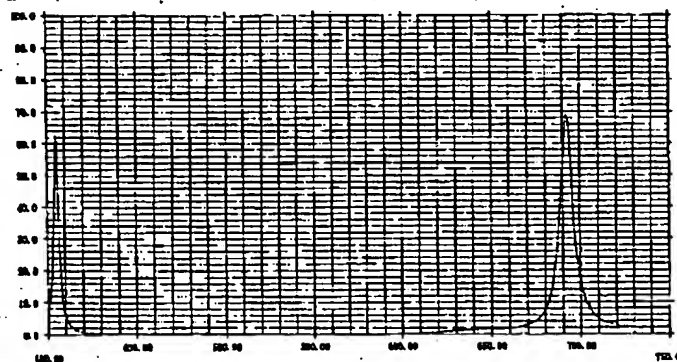
【図3】



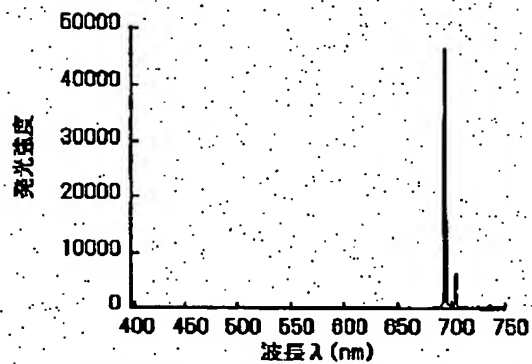
【図 2】



(a) 光学干渉フィルタを通す前のスペクトル分布



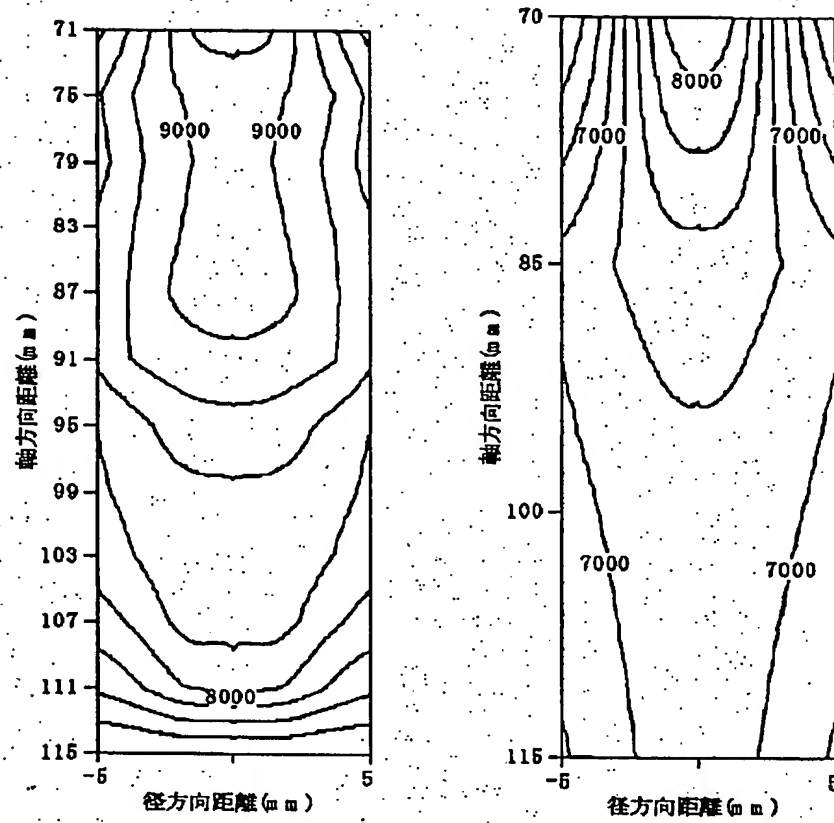
(b) 光学干渉フィルタの感度特性



(c) 光学干渉フィルタを通した後のスペクトル分布



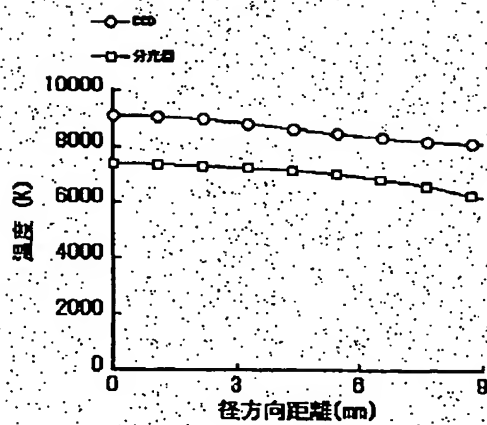
【図 4】



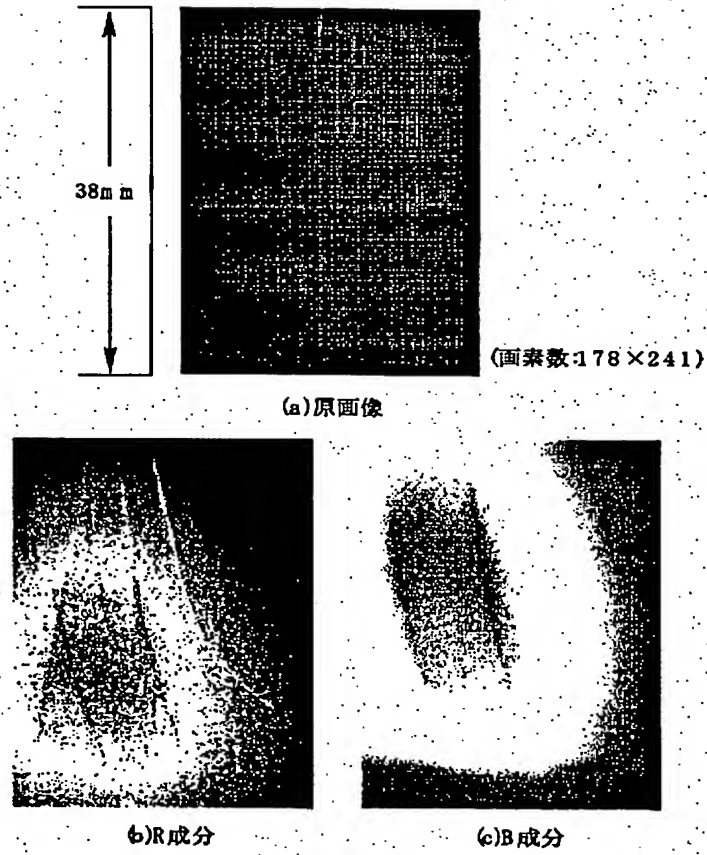
(a) 本発明の方法で求めた温度

(b) 従来の方法で求めた温度

【図 5】



【図 6】



---

フロントページの続き

Fターム(参考) 2G066 AC20 BA14 BA22 BA23 BA24  
BC21

BEST AVAILABLE COPY